

Tomasz AMBROZIAK \*, Konrad LEWCZUK \*

## OCENA OBCIĄŻENIA PRACĄ URZĄDZEŃ W ASPEKTCIE HARMONOGRAMOWANIA PROCESU TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO

### Streszczenie

Proces transportu wewnętrznego (PTW) realizowany jest w obiektach logistycznych takich jak magazyny dystrybucyjne lub terminale przeładunkowe. Proces ten determinuje koszty pracy takich obiektów i koszty usług logistycznych. Jednym z najważniejszych narzędzi organizacyjnych tego procesu jest harmonogramowanie. Harmonogram PTW może być oceniany ze względu na kryteria opisujące obciążenie pracą urzędzeń transportu wewnętrznego. W artykule zaproponowano wskaźniki obciążenia pracą pracowników i urzędzeń transportu wewnętrznego. Zadanie poparte zostało odpowiednim przykładem obliczeniowym.

**Słowa kluczowe:** harmonogramowanie procesu transportu wewnętrznego, obciążenie pracą urzędzeń, wskaźnik organizacyjny.

### 1. WPROWADZENIE

Obiekty logistyczne, takie jak magazyny dystrybucyjne, produkcyjne, punkty konsolidacji, obiekty cross-dockingowe itp. są kluczowymi elementami łańcuchów dostaw. Dokonywana jest w nich konsolidacja i dekonsolidacja strumieni materiałów, a także ich przekierowanie na odpowiednie kierunki i składowanie [6], [8]. Są to funkcje podstawowe obiektów logistycznych, których spełnienie jest wynikiem realizacji procesu transportu wewnętrznego (PTW) w ich obrębie [2]. Efektywna realizacja PTW jest kluczowa dla kosztów pracy i będzie przekładać się na ceny usług logistycznych [6].

Proces transportu wewnętrznego definiowany jest jako układ zadań związanych z przemieszczaniem i/lub zmianą postaci fizycznej jednostek materiału za pomocą odpowiedniego sprzętu i pracowników, zorganizowany i sterowany przez specjalistyczne narzędzia informacyjne. PTW jest składową integralną procesu logistycznego realizowanego w obrębie obiektu logistycznego. W skład procesu logistycznego wchodzi przemieszczanie, buforowanie, składowanie i zmiana postaci fizycznej materiałów. PTW obejmuje tylko transport materiałów pomiędzy obszarami funkcjonalnymi obiektu oraz wewnątrz nich, a także buforowanie tych przepływów. Elementy składowania długo i krótkookresowego, w przypadku PTW nie są rozważane [1].

### 2. HARMONOGRAM PROCESU TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO

Organizacja PTW przez harmonogramowanie jest drogą do poprawienia jego efektywności, czyli zwiększenia wydajności przy zmniejszeniu kosztów realizacji. Uzasadnione jest więc wypracowywanie metod konstruowania harmonogramów racjonalnych, a tym samym poprawa jakości projektów technologicznych magazynów dystrybucyjnych i usprawnienie metod zarządzania. Jednym z kryteriów oceny harmonogramów PTW może być stopień obciążenia pracą urzędzeń i ludzi.

---

\* Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Harmonogramowanie PTW jest rozkładaniem zadań PTW w czasie poprzez przydzielenie do każdego z nich odcinków czasu w dobowym czasie pracy obiektu logistycznego oraz jednego lub więcej typów urządzenia do realizacji. Harmonogram PTW odpowiada więc na pytanie: kiedy dane zadanie może być wykonywane? Ustalany tym samym jest czas dysponowany zadania. Od sposobu rozłożenia zadań w czasie zależą będzie liczba zasobów pracy (tj. urządzenie + operator) zaangażowanych do realizacji procesu, a w konsekwencji koszt realizacji PTW [2],[7],[8].

Zadanie w procesie transportu wewnętrznego definiowane jest jako konieczność przemieszczenia materiałów między dwoma punktami w przestrzeni. Jednostką zadania jest ilość materiału, która musi zostać przemieszczona. Technologia wykonania zadania zakłada realizację określonej liczby tzw. cykli transportowych, a w czasie jednego cyklu transportowana jest znana liczba jednostek materiału. Cykl jest powtarzany wielokrotnie w ciągu czasu pracy. Czas trwania powtórzenia jest względnie krótki i jego długość nie jest znaczącą częścią czasu dysponowanego. Każde  $i$ -te zadanie PTW jest określane przez ([1]):

- dobową liczbę powtórzeń cyklu transportowego dla  $i$ -tego zadania  $\lambda_i^D$  [cykli/dobę],
- czas trwania jednego powtórzenia cyklu transportowego  $i$ -tego zadania  $t_{ci}$  [h],
- realizujący je,  $p$ -ty zasób pracy,  $u$ -ty typ urządzenia lub  $c$ -tą kategorię pracy ludzkiej,
- z harmonogramu PTW odczytywany jest czas dysponowany  $i$ -tego zadania  $t_{dbr}^i$  [h].

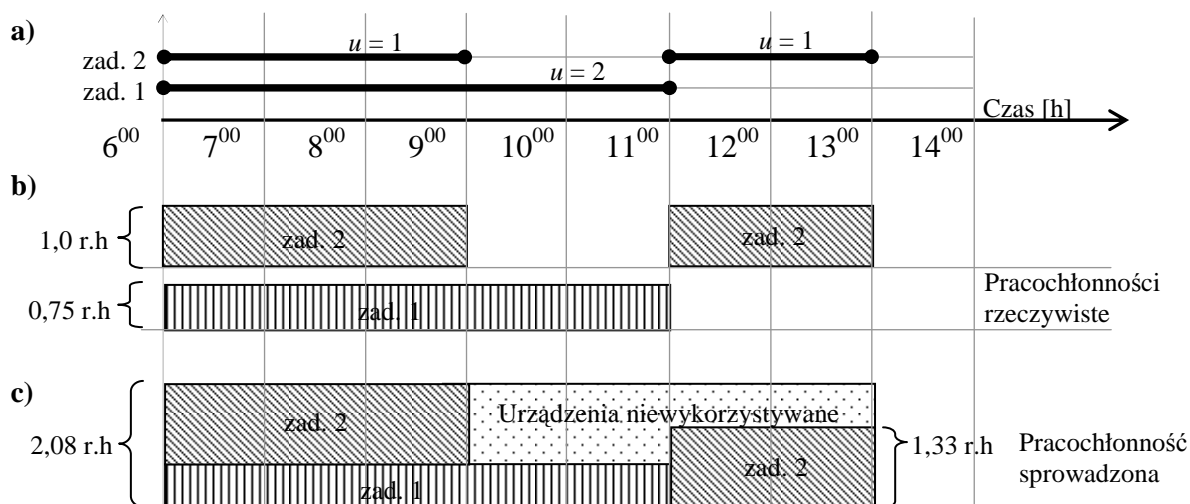
Przy budowie harmonogramu PTW należy uwzględnić dwie zasady organizacyjne:

- najdroższe urządzenie powinno być wykorzystywane w jak najwyższym stopniu w celu uzyskania zwrotu nakładów poniesionych na jego zakup,
- należy tak rozkładać w czasie zadania procesu, aby w miarę możliwości unikać przestoju w pracy urządzeń oraz jednocześnie unikać spięrzeń pracy.

Im wyższa będzie zbieżność organizacji pracy z powyższymi warunkami, tym niższe będą koszty eksploatacyjne i operacyjne pracy. W sytuacji optymalnej minimalna liczba urządzeń realizuje proces o zadanej wydajności przy minimalnych kosztach operacyjnych.

Konstruowanie harmonogramu PTW umożliwia uzyskanie wykresów pracochłonności rzeczywistej i sprowadzonej. Algorytm konstruowania harmonogramu PTW przedstawiono na rys. 1a-c dla danych przykładowych.

Zadanie  $i = 1$  składa się z  $\lambda_1^D = 100$  cykli/dobę, o czasie wykonania  $t_{c1} = 0,05$  h. Zadanie  $i = 2$  składa się ze  $\lambda_2^D = 150$  cykli/dobę, o czasie  $t_{c2} = 0,025$  h. Zadanie  $i = 1$  wykonywane jest przez urządzenie  $u = 1$  o koszcie godziny pracy  $k_1 = 20$  zł/h, zadanie  $i = 2$  przez urządzenie  $u = 2$  o koszcie godziny pracy  $k_2 = 15$  zł/h. W związku z powyższym, pracochłonność rzeczywista realizacji zadania  $i = 1$  wynosi  $L_1^D = 0,05 \cdot 100 = 5$  r.h, zaś zadania  $i = 2$  wynosi  $L_2^D = 0,25 \cdot 150 = 3,75$  r.h. Zadania realizowane są wg harmonogramu przedstawionego na rys. 1a, tak więc czasy dysponowane obu zadań  $t_{dbr}^1 = t_{dbr}^2 = 5$  h. Stąd natężenie godzinowe pracochłonności rzeczywistych zadań (rys. 1b) wynosi:  $L_1^H = 5/5 = 1$  r.h/h oraz  $L_2^H = 3,75/5 = 0,75$  r.h/h. Po wyważeniu obu godzinowych pracochłonności przez koszt godziny pracy urządzeń otrzymano pracochłonność sprowadzoną:  $\bar{L}_1^D = 1 \cdot 20/15 \approx 1,33$  r.h/h oraz  $\bar{L}_2^D = 0,75 \cdot 15/15 = 0,75$  r.h/h. Pracochłonności sprowadzone dodano do siebie na rys. 1c.



Rys. 1. Przykład harmonogramu realizacji dwóch zadań PTW

Źródło: opracowanie własne.

### 3. STOPIEŃ OBCIĄŻENIA PRACĄ URZĄDZEŃ TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO W ASPEKTCIE HARMONOGRAMU PTW

W celu formalnego opisu zagadnienia harmonogramowania PTW należy określić dane wejściowe problemu. W związku z powyższym określono:

- Zbiór  $I$  numerów zadań procesu transportu wewnętrznego  $i \in I$ ;  $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, k, \dots, I\}$ .
- Zbiór typów urządzeń  $U = \{0, 1, 2, \dots, u, \dots, U\}$ .
- Zbiór kategorii pracy ludzkiej  $C = \{0, 1, 2, \dots, c, \dots, C\}$ .
- Zbiór typów zasobów pracy  $P = \{1, 2, \dots, p, \dots, z, \dots, P\}$ , przy czym  $p \equiv (u, c): u \in U; c \in C$ .
- Każde  $i$ -te zadanie ma znaną dobową liczbę powtórzeń  $\lambda_i^{Dp/u/c}$  [cykli/dobę].
- Każde  $i$ -te zadanie ma znany czas jednego powtórzenia  $t_{ci}$  [h].
- Każde  $i$ -te zadanie ma znaną pracochłonność dobową  $L_i^{Dp/u/c}$  [r.h]
- Zbiór odcinków czasu  $T = \{1, 2, \dots, t, \dots, T\}$  określający ziarnistość harmonogramu.
- Liczba zmian roboczych na dobę  $l_z$  oraz długość zmiany roboczej  $l$  [h].

Praca obiektu logistycznego będzie organizowana poprzez przydzielanie do każdego  $i$ -tego zadania pewnej liczby odcinków czasowych ze zbioru  $T$ . W tym celu założono, że:

- Typy zasobów pracy  $p \in P$  są na stałe przypisane do numerów zadań  $i \in I$ .
- Dane są koszty godziny pracy urządzenia  $u$ -tego typu oraz pracownika  $c$ -tej kat. pracy.
- Przydzielone do zadania odcinki czasu stanowią w sumie jego czas dysponowany  $t_{dbr}^i$ .
- Wszystkie  $i$ -te zadania muszą zostać wykonane w czasie  $T$ .

Do oceny jakości harmonogramu wykorzystuje się miary technologiczne i kosztowe, takie jak liczba ludzi i urządzeń oraz koszty operacyjne i eksploatacyjne oraz miary mówiące o stopniu obciążenia pracą, takie jak wskaźnik organizacyjny czy wskaźnik równomierności obciążenia pracą ludzi i urządzeń.

Wielkość nazywana w literaturze ([7]) *wskaźnikiem organizacyjnym*  $\theta_{oz}$  mówi o jakości organizacji pracy w obiekcie logistycznym, poprzez ocenę stopnia wykorzystania urządzeń i definiowana jest jako iloraz [8]:

$$\theta_{oz} = \frac{K^{Ro}}{K_{E_{upr}}^R} \quad (1)$$

gdzie:  $K^{Ro}$  – roczne koszty operacyjne pracy urządzeń i ludzi [zł/rok],  
 $K_{E_{upr}}^R$  – roczne koszty eksploatacyjne uproszczone, składające się wyłącznie z kosztów utrzymania środków transportowych i środków sterowania oraz kosztów robocizny, nie zawierające kosztów utrzymania infrastruktury [zł/rok],

Liczba zainstalowanych urządzeń i zatrudnionych pracowników wynika z okresowego szczytu natężenia pracochłonności procesu (przykład obliczeniowy). W pozostałych okresach część zainstalowanego potencjału pozostaje niewykorzystana (oznaczone pole na rys. 1c). Minimalizowanie wielkości tego pola oznacza lepsze wykorzystanie urządzeń i pracowników i unikanie strat związanych z przestojami. Wskaźnik organizacyjny odgrywa znaczną rolę na etapie harmonogramowania PTW. Najlepsza możliwa wartość tego wskaźnika, tj. 1,0 oznacza, że wszystkie urządzenia wykorzystywane są w 100% w ciągu doby roboczej.

Ze względów technologicznych uzasadnione jest ocenianie harmonogramu PTW ze względu na równomierność obciążenia pracą poszczególnych typów zasobów, urządzeń lub kategorii pracy ludzkiej. W tym celu wyznacza się wartość wskaźnika organizacyjnego dla każdego typu zasobu, urządzenia lub pracownika i wyważa je kosztem godziny pracy. W ten sposób otrzymuje się miarę równomierności obciążenia pracą  $p$ -tych zasobów pracy  $\theta_{oz}^p$ ,  $u$ -tych typów urządzeń  $\theta_{oz}^u$  i  $c$ -tych kategorii pracy ludzkiej  $\theta_{oz}^c$ .

$$\theta_{oz}^p = \frac{L^{Dp}}{l \cdot l_z \cdot \max_{h \in T} \{L^{hp}\}} \quad (2), \quad \theta_{oz}^u = \frac{L^{Du}}{l \cdot l_z \cdot \max_{h \in T} \{L^{hu}\}} \quad (3), \quad \theta_{oz}^c = \frac{L^{Dc}}{l \cdot l_z \cdot \max_{h \in T} \{L^{hc}\}} \quad (4)$$

gdzie:  $L^{Du/c/p}$  – dobowo pracochłonność rzeczywista realizacji zadań przez  $p$ -ty zestaw,  $u$ -ty typ urządzenia lub  $c$ -tą kategorię pracy ludzkiej [r.h],  
 $L^{hu/c/p}$  – chwilowa pracochłonność rzeczywista dla  $p$ -tego zestawu,  $u$ -tego typu urządzenia lub  $c$ -tej kategorii pracy ludzkiej odczytana z wykresu pracochłonności rzeczywistej procesu [r.h/h],  
 $T$  – zbiór numerów odcinków czasu (ziarnistość harmonogramu PTW),  
 $l \cdot l_z$  – iloczyn liczby i długości zmiany roboczych na dobę [h],

Wykorzystana we wzorach 2 – 4 dobowo pracochłonność sprowadzona procesu liczona jest na podstawie zależności:

$$L^{Du/c/p} = \sum_{i \in I} \lambda_i^{Du/c/p} \cdot t_{ci} \quad (5)$$

gdzie:  $\lambda_i^{Du/c/p}$  – dobowo liczba powtórzeń cyklu transportowego  $i$ -tego zadania realizowana przez  $p$ -ty zestaw,  $u$ -ty typ urządzenia lub  $c$ -tą kategorię pracy ludzkiej [cykli/dobę].  
 $t_{ci}$  – czas realizacji jednego powtórzenia cyklu transportowego  $i$ -tego zadania [h].

Wartość powyższych wskaźników równa 1 oznacza, że zasoby są wykorzystywane równomiernie w całym czasie dysponowanym pracy. Z kolei mniejsze wartości wskaźnika oznaczają, że pewne urządzenia lub kategorie pracy ludzkiej mają przestoje w pracy.

Porównywanie wartości tego wskaźnika dla różnych wariantów harmonogramu PTW ułatwia wybór harmonogramu racjonalnego.

Powyższe wskaźniki cząstkowe mogą zostać sprowadzone do jednej wartości, opisującej cały proces. W tym celu założono, że para urządzenie-pracownik będzie stanowiła tzw. zasób pracy, przy czym możliwe jest takie przyporządkowanie, w którym pracownik nie używa żadnego urządzenia ( $u = 0$ ) lub praca jest automatyczna ( $c = 0$ ). W takim przypadku można mówić o wskaźniku równomierności wykorzystania wszystkich środków pracy  $\theta_{oz}^{zas}$ :

$$\theta_{oz}^{zas} = \sum_{p \in P} \frac{L^{Dp} \cdot k^p}{\sum_{z \in P} k^z \cdot l \cdot l_z \cdot \max_{h \in T} \{L^{hp}\}} \quad (6)$$

gdzie:  $k^p, k^z$  – koszt godziny pracy zasobu  $p$ -tego lub  $z$ -tego typu należącego do zbioru  $P$  typów zasobów pracy [zł/h],  $p, z \in P$ , pozostałe oznaczenia jak we wzorze (4).

Wskaźnik ten jest pochodną wskaźnika organizacyjnego  $\theta_{oz}$ , jednakże dawać będzie inne wyniki, gdyż ocenia organizację PTW ze względu na równomierność zaangażowania wszystkich środków pracy w ciągu doby roboczej. W celu zwiększenia rangi środków najdroższych, wartość wskaźników cząstkowych  $\theta_{oz}^p$  wyważa się kosztem godziny ich pracy.

Wszystkie powyższe wskaźniki mogą posłużyć do sformułowania funkcji kryterium do oceny harmonogramu PTW i sformułowania zadania optymalizacyjnego harmonogramowania PTW [2]. Przykłady porównujące wartość wszystkich wskaźników podano w dalszej części opracowania.

#### 4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Dla celów prezentacji opracowano przykład obrazujący zagadnienie obciążenia pracą urządzeń i pracowników transportu wewnętrznego.

Dany PTW składa się z pięciu zadań. Dobowa liczba cykli transportowych zadań wynosi odpowiednio:  $\lambda_1^D = 160$ ,  $\lambda_2^D = 278$ ,  $\lambda_3^D = 594$ ,  $\lambda_4^D = 528$ ,  $\lambda_5^D = 228$  [cykli/dobę]. Czasy cykli transportowych wynoszą odpowiednio:  $t_1 = 1,7952$ ,  $t_2 = 1,987$ ,  $t_3 = 0,4665$ ,  $t_4 = 0,8276$ ,  $t_5 = 1,1168$  [min].

Zadania wykonywane są przez dwa typy urządzeń oraz przez dwie kategorie pracy ludzkiej, które zostały sformowane w trzy zestawy odpowiednio:  $p = 1$  ( $u = 1$ ;  $c = 1$ ),  $p = 2$  ( $u = 2$ ;  $c = 1$ ),  $p = 3$  ( $u = 1$ ;  $c = 2$ ). Koszt godziny pracy urządzeń wynosi  $k^{u=1} = 8$  zł/h,  $k^{u=2} = 9$  zł/h. Koszt godziny pracy pracowników wynosi:  $k^{c=1} = 12$  zł/h,  $k^{c=2} = 15$  zł/h. Odpowiednio, po uwzględnieniu zakładowych wskaźników kosztu pracy, obliczono koszty godziny pracy zestawów:  $k^{p=1} = 27,8$  zł/h,  $k^{p=2} = 28,8$  zł/h,  $k^{p=3} = 32,75$  zł/h.

Zestawy przypisano do zadań  $i = 1 \rightarrow p = 1$ ;  $i = 2 \rightarrow p = 3$ ;  $i = 3 \rightarrow p = 1$ ;  $i = 4 \rightarrow p = 2$ ;  $i = 5 \rightarrow p = 3$ ;

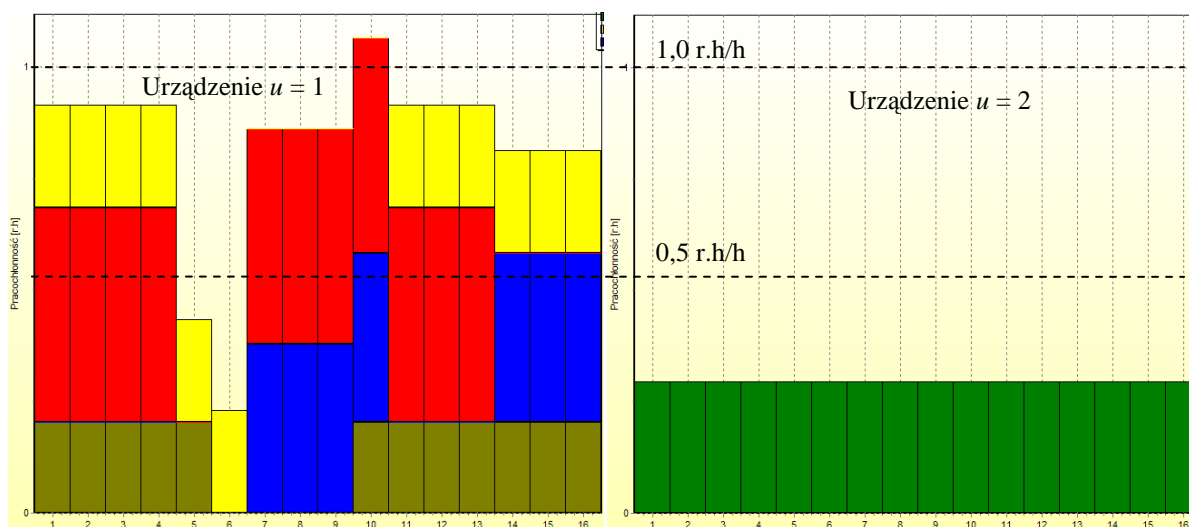
Na wykonywanie zadań nie nałożono żadnych ograniczeń, oprócz tego, że dysponowany czas pracy dla każdego zadania musi wynosić przynajmniej 1 jednostkę czasu na harmonogramie. Harmonogram realizacji zadań opisany jest przez  $T = 16$  odcinków czasu, każdy o długości 30 min. Harmonogram nr 1 PTW przedstawiono na rys. 2:



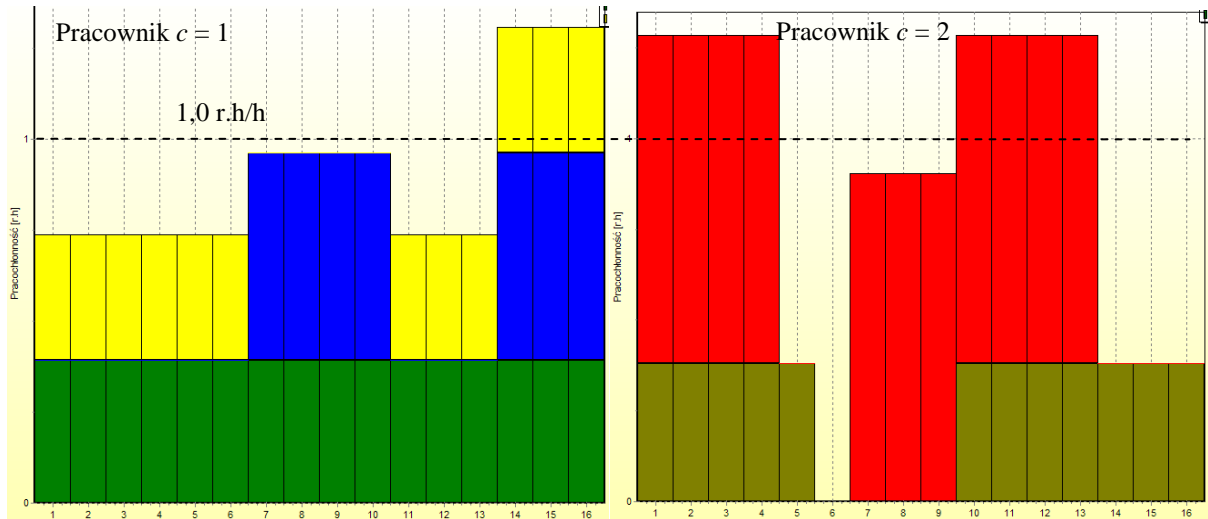
Rys. 2. Harmonogram nr 1 zadania przykładowego  
*Źródło: opracowanie własne.*

Zadanie optymalizacyjne harmonogramowania PTW jest zagadnieniem NP-złożonym, dla którego czas uzyskania rozwiązania dokładnego rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem przestrzeni stanów zagadnienia [4],[5]. W celu rozwiązania zadania opracowano algorytm heurystyczny wykorzystujący właściwości procesu do ustalenia rozwiązań dopuszczalnych.

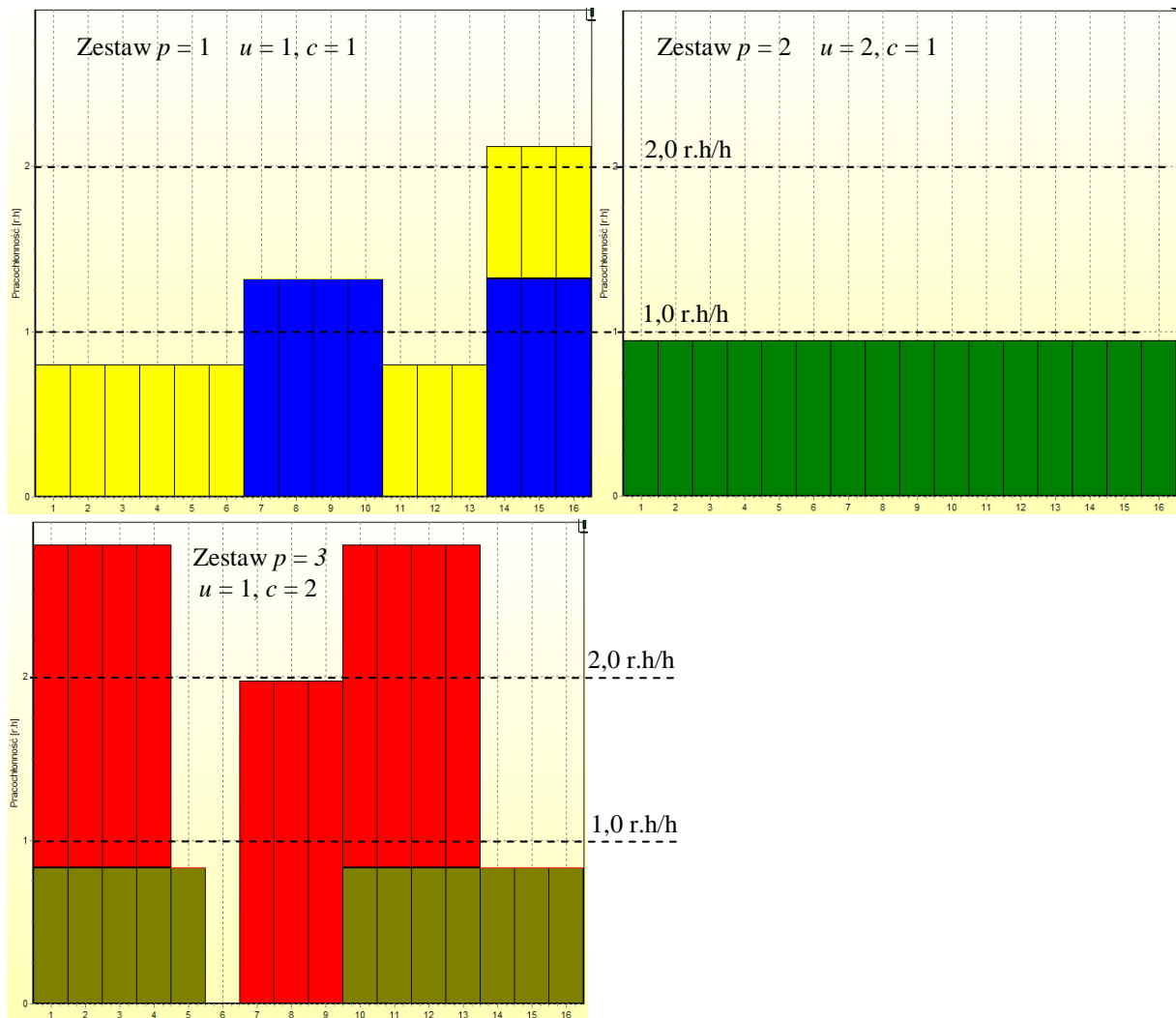
Zadanie optymalizacyjne harmonogramowania PTW zostało zaimplementowane w postaci autorskiej aplikacji komputerowej SCHED. Aplikacja pozwala na rozwiązanie problemu i podanie charakterystyk kosztowych i technicznych rozwiązania. W artykule nie rozważany jest problem samego zadania optymalizacyjnego harmonogramowania PTW. Dzięki aplikacji dokonano jednak analizy ustalonych wariantów harmonogramu PTW. Dla przypadku harmonogramu PTW przedstawionego na rys. 2, w programie SCHED uzyskano wykresy rozłożenia pracochłonności sprowadzonej w czasie dla każdego zestawu pracy, każdego typu urządzenia i każdej kategorii pracy ludzkiej. Wykresy pracochłonności, które odpowiadają wzorom 2 – 4 oraz 6 przedstawiono na rys. 3 – 5.



Rys. 3. Wykresy rozłożenia pracochłonności sprowadzonej dla urządzeń  
*Źródło: Opracowanie własne.*



Rys. 4. Wykresy rozłożenia pracochłonności sprowadzonej dla pracowników  
 Źródło: opracowanie własne.

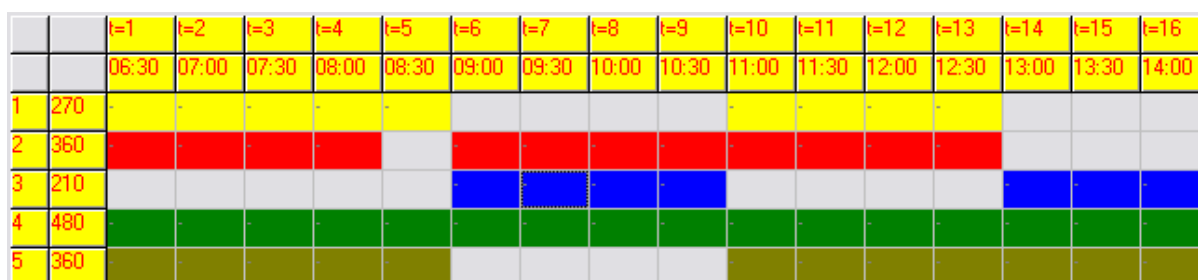


Rys. 5. Wykresy rozłożenia pracochłonności sprowadzonej dla zestawów urządzenie + pracownik  
 Źródło: opracowanie własne.

Dla przypadku harmonogramu PTW przedstawionego na rys. 2, w programie SCHED obliczono wartości wskaźników danych wzorami 2 – 4 oraz 6 i zestawiono je z kosztami realizacji procesu dla danych przykładowych:

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Wskaźnik organizacyjny#1:   | 0,809                     |
| Równomierność obciążenia $p$ -tych zestawów:  | 0,601                     |
| Równomierność obciążenia $u$ -tych urządzeń:  | 0,893                     |
| Równomierność obciążenia $c$ -tych kategorii pracy:   | 0,698                     |
| Roczne koszty realizacji procesu PTW:   | 815 154,88 zł/rok, w tym: |
| Roczne koszty operacyjne pracy ludzi:   | 362 536,08 zł/rok,        |
| Roczne koszty operacyjne pracy urządzeń:  | 84 740,9 zł/rok,          |
| Roczne koszty eksploatacyjne pracy urządzeń:  | 452 618,8 zł/rok,         |
| Urządzenie $u = 1$ . Liczba urządzeń: 4,354, przyjęto <b>5</b> szt. Rezerwa: 12,92%.            |                           |
| Urządzenie $u = 2$ . Liczba urządzeń: 1,071, przyjęto <b>2</b> szt. Rezerwa: 46,45%.            |                           |
| Pracownik $c = 1$ , Liczba pracowników na zmianę: 3,364, zatrudniono <b>4</b> . Rezerwa: 15,9%  |                           |
| Pracownik $c = 2$ . Liczba pracowników na zmianę: 2,646, zatrudniono <b>3</b> . Rezerwa: 11,81% |                           |

Następnie dokonano zmian w harmonogramie PTW (rys. 6.) (uwaga: dane kosztowe, które są konieczne do obliczenia rocznych kosztów pracy są stałe dla obu przypadków harmonogramu i zostały pominięte w danych zadania przykładowego).



Rys. 6. Harmonogram nr 2 zadania przykładowego

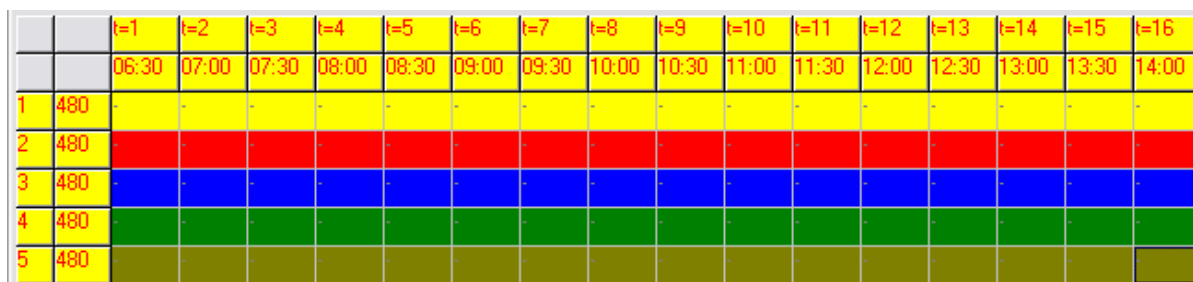
Źródło: opracowanie własne.

W takim przypadku wskaźniki dane wzorami 2 – 4 oraz 6, obliczone w programie SCHED mają następujące wartości:

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Wskaźnik organizacyjny#1:  | 0,882                     |
| Równomierność obciążenia $p$ -tych zestawów:   | 0,776                     |
| Równomierność obciążenia $u$ -tych urządzeń:   | 0,936                     |
| Równomierność obciążenia $c$ -tych kategorii pracy:  | 0,832                     |
| Roczne koszty realizacji procesu PTW:  | 695 268,16 zł/rok, w tym: |
| Roczne koszty operacyjne pracy ludzi:  | 315 828,36 zł/rok,        |
| Roczne koszty operacyjne pracy urządzeń:   | 84 740,9 zł/rok,          |
| Roczne koszty eksploatacyjne pracy urządzeń:   | 379 439,8 zł/rok,         |
| Urządzenie $u = 1$ . Liczba urządzeń: 3,889, przyjęto <b>4</b> szt. Rezerwa: 2,78%.              |                           |
| Urządzenie $u = 2$ . Liczba urządzeń: 1,071, przyjęto <b>2</b> szt. Rezerwa: 46,45%.             |                           |
| Pracownik $c = 1$ . Liczba pracowników na zmianę: 2,478, zatrudniono <b>3</b> . Rezerwa: 17,41%. |                           |
| Pracownik $c = 2$ . Liczba pracowników na zmianę: 2,491, zatrudniono <b>3</b> Rezerwa: 16,97%.   |                           |

W celu dokonania porównań rozważono także sytuację braku harmonogramu PTW (w rzeczywistości jest to harmonogram, w którym zadania mają przydzielone wszystkie możliwe odcinki czasu i nie obowiązują żadne ograniczenia technologiczne i organizacyjne procesu). Harmonogram nr 3 PTW przedstawiono na rys. 7.





Rys. 7. Harmonogram nr 3 zadania przykładowego

Źródło: opracowanie własne.

W takiej sytuacji wszystkie urządzenia pracują równolegle, a wykresy pracochłonności rzeczywistej i sprowadzonej są płaskie (porównaj rys. 3 – 5). Wartości wskaźników i parametrów kosztowych rozwiązania obliczone w programie SCHED były następujące:

Wskaźnik organizacyjny#1: 1  
 Równomierność obciążenia  $p$ -tych zestawów: 1  
 Równomierność obciążenia  $u$ -tych urządzeń: 1  
 Równomierność obciążenia  $c$ -tych kategorii pracy: 1  
 Roczne koszty realizacji procesu PTW: 636 699,76 zł/rok, w tym:  
 Roczne koszty operacyjne pracy ludzi: 257 259,96 zł/rok,  
 Roczne koszty operacyjne pracy urządzeń: 84 740,9 zł/rok,  
 Roczne koszty eksploatacyjne pracy urządzeń: 379 439,8 zł/rok,  
 Urządzenie  $u = 1$ . Liczba urządzeń: 3,361, przyjęto 4 szt. Rezerwa: 15,97%.  
 Urządzenie  $u = 2$ . Liczba urządzeń: 1,071, przyjęto 2 szt. Rezerwa: 46,45%.  
 Pracownik  $c = 1$ . Liczba pracowników na zmianę: 2,318, zatrudniono 3. Rezerwa: 22,74%.  
 Pracownik  $c = 2$ . Liczba pracowników na zmianę: 1,868, zatrudniono 2. Rezerwa: 6,6%.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Harmonogram PTW wpływa na stopień zaangażowania urządzeń oraz ludzi w procesie poprzez określanie czasu dysponowanego zadań oraz momentów ich rozpoczęcia i zakończenia. Stopień wykorzystania urządzeń może być definiowany jako stosunek dobowego czasu aktywności urządzeń do czasu pracy obiektu.

W zadaniu przykładowym analizie poddano dwa przypadki harmonogramu PTW złożonego z pięciu zadań, które są realizowane przez różne konfiguracje pracownik – urządzenie. Takie rozłożenie pracowników i urządzeń sprawia, że wykresy pracochłonności sprowadzonej procesu rozpatrywane mogą być względem na pracę ludzi, urządzeń lub zestawów i będą pokazywały różne obciążenie pracą. Każdy układ harmonogramu PTW daje inne wyniki. W przypadku nr, kiedy zmieniono harmonogram, roczne koszty realizacji PTW zmniejszyły się o ok. 14%. Zmiana ta wynika ze zmniejszenia się liczby pracowników i urządzeń, lub lepszego wykorzystania już zatrudnionych.

Równomierność obciążenia  $p$ -tych zestawów,  $u$ -tych urządzeń i  $c$ -tych kategorii pracy ludzkiej w przypadku nr 1 wynosiła odpowiednio: 0,601 / 0,893 / 0,698. W drugim przypadku parametry te wyniosły odpowiednio: 0,776 / 0,936 / 0,832, więc widoczny jest wyraźny wzrost ich wartości, które skorelowane są ze zmniejszeniem kosztów pracy.

W przypadku nr 3, kiedy wszystkie zadania realizowane są równolegle, spadek kosztów względem rozwiązania nr 1 wynosi ponad 21%, a wartości wskaźników są równe 1. Taka sytuacja w rzeczywistości przeważnie nie ma miejsca, gdyż proces transportu wewnętrznego w obiektach logistycznych zawsze obwarowany jest szeregiem ograniczeń dotyczących sekwencji zadań i ograniczeń czasowych. Taki przypadek jednakże jest często stosowany

przez projektantów i użytkowników, co może powodować niedowymiarowanie układu i niedoszacowanie kosztów pracy. Jeżeli wskaźniki obciążenia pracą mają wartości maksymalnie zbliżone do jedności, a przy tym spełnione są wszystkie ograniczenia procesu, to można mówić o procesie (i harmonogramie) racjonalnym.

Uzyskane wyniki pozwalają sądzić, iż proponowane miary obciążenia pracą mogą być wykorzystane z powodzeniem do oceny jakości harmonogramu PTW, a tym samym oceny jakości organizacji pracy w obiektach logistycznych. Miary te zostały zaimplementowane wraz jako jedne z funkcji celu zadania optymalizacyjnego harmonogramowania PTW w aplikacji SCHED.

## LITERATURA

- [1] Ambroziak T., Lewczuk K., Problematyka buforowania przepływów materiałów w aspekcie harmonogramowania procesów transportu wewnętrznego, *Logistyka* 4/2010.
- [2] Ambroziak T., Lewczuk K., Wybrane aspekty harmonogramowania procesu magazynowego. *Prace Naukowe PW Transport z.64, Współczesne wyzwania transportu w logistyce*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008r.
- [3] Ambroziak T., Lewczuk K., A method for scheduling the goods receiving process in warehouse facilities, *Total Logistic Management. Annual No.1*, p. 7-14, AGH University of Science and Technology Press, Kraków 2008r.
- [4] Błażewicz J., Ecker K., Pesch E., Schmidt G., Węglarz J.: *Handbook on Scheduling. From Theory to Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
- [5] Bruckner P., *Scheduling Algorithms*, (5th ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- [6] Daganzo F. C., *Logistics Systems Analysis* (4<sup>th</sup> ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.
- [7] Fijałkowski J.: Czynniki kosztów w wymiarowaniu procesów przepływu ładunków w systemach logistycznych. *Rocznik nr 5 (2008), Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej*, PAN Komitet Transportu, Oficyna Wydawnicza TEXT, Kraków 2008.
- [8] Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.

## ASSESSMENT OF THE EQUIPMENT WORK LOAD IN THE CONTEXT OF INTERNAL TRANSPORT PROCESS SCHEDULING

### Abstract

Internal transport process (PTW) is taken in logistics facilities such as distribution warehouses and loading terminals. This process determines the labor costs of such facilities and costs of logistic services. One of the most important tools for organizing this process is scheduling. PTW schedule can be evaluated according to criteria of work load of internal transport equipment. Article presents indexes of equipment and labor force work load in internal transport.. The task was supported by adequate computational example.

**Keywords:** internal transport scheduling, equipment work load, organizational rating.